

Особливості газотурбінних установок

Олександр Богдан, студент¹ (ORCID: 0009-0008-1797-9522), Віктор Сідун студент¹ (ORCID: 0009-0007-4330-7837)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Енергетична галузь України після значних пошкоджень і руйнувань об'єктів генерації електричної енергії потребує нових джерел і установок для покриття потреб електроспоживання. Газотурбіна установка (ГТУ) є одним з джерел електропостачання. Наведені в роботі формули для оцінки ефективності роботи ГТУ дозволяють визначити витрату умовного палива для отримання 1 кВт електроенергії, зробити висновки відносно паросилових установок.

Ключові слова: газотурбіна установка, компресор, ККД, енергетична ефективність, умовне паливо, турбіна.

1. ВСТУП

До 2014 року в Україні близько 50% електроенергії генерували АЕС, до 40% ТЕС та ТЕЦ. Після повномасштабного вторгнення в березні 2022 р. країна втратила тільки атомної генерації понад 43% (ЗАЕС 6000 МВт) через тимчасову окупацію Запорізької області. Через атаки ворога по енергетичній інфраструктурі за останні місяці було втрачено близько 80% генерації Групи ДТЕК.

Центрэнерго втратив усі об'єкти генерації. Частку можна перекрити імпортом, але країна має фізичні обмеження для імпортування електроенергії до 1800 МВт. Велика кількість руйнувань стимулює впровадження нових методів генерації. Це застосування газотурбінних установок (ГТУ) [1,2].

2. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ПРОСТОЇ ГТУ

Оскільки в ГТУ виробляється тільки електрична енергія її єдино системне паливно-енергетичне рівняння взаємо пов'язує секундну витрату палива в ГТУ – $W_{ГТУ}$, кг/с, секундну витрату (тобто, потужність) виробленої електричної енергії – $W_{ГТУ}^{вир}$, кДж/с (кВт), і ККД установки з виробленої електричної енергії – $(\eta_e^{ГТУ})^{вир}$:

$$W_{ГТУ} \cdot Q_{н.р} \cdot (\eta_e^{ГТУ})^{вир} = W_{вир}^{ГТУ}, \quad (1)$$

де $W_{вир}^{ГТУ}$ – потужність, виробленої електричної енергії, кВт. Визначається за формулою:

$$W_{вир}^{ГТУ} = G_{р.г}^{ГТУ} \cdot I_{г.г}^{ГТУ}, \quad (2)$$

де: $G_{р.г}$ – секундна витрата робочого тіла в ГТУ, кг/с. Вага одержаних продуктів згорання палива в ГТУ практично дорівнює вазі повітря, секундній кількості повітря, що стискається в компресорі та визначається експлуатаційним регламентом ГТУ; $I_{г.г}^{ГТУ}$ – реальна питома внутрішня витрата роботи в ГТУ, кДж/кг. Визначається, як різниця між реальною роботою, яка одержана в газовій турбіні та реальною роботою, яка спожита компресором, з урахуванням внутрішнього відносного ККД газової турбіни – $\eta_{oi}^{ГТ}$, та індикаторного ККД компресора – η_i^K ,

Реальна питома внутрішня витрата роботи в ГТУ, кДж/кг за формулою:

$$I_{г.г}^{ГТУ} = I_{г.г}^{ГТУ} \cdot \eta_{oi}^{ГТ} - I_{к}^{ГТУ} \cdot \eta_i^K, \quad (3)$$

де: $I_{г.г}^{ГТУ}$ – питома адиабатична робота, одержана в газовій турбіні ГТУ, кДж/кг. Визначається аналогічно визначенню для парових турбін, як різниця реальної ентальпії продуктів згорання на вході – $h_o^{ГТ}$, кДж/кг, та їх адиабатичної ентальпії на виході газової турбіни – $h_{к.а}^{ГТ}$, за формулою:

$$I_{г.г}^{ГТУ} = (h_o^{ГТ} - h_{к.а}^{ГТ}), \quad (4)$$

$I_{к}^{ГТУ}$ – питома адиабатична робота, спожита повітряним компресором ГТУ, кДж/кг. Визначається, як різниця адиабатичної ентальпії повітря на виході – $h_{вих.а}^K$, кДж/кг, та реальної ентальпії на вході компресору – $h_{вх}^K$, кДж/кг, за формулою:

$$I_{к}^{ГТУ} = (h_{вих.а}^K - h_{вх}^K), \quad (5)$$

$(\eta_e^{ГТУ})^{вир}$ – експлуатаційний ККД ГТУ з виробленої електричної енергії, од. Визначається за формулою:

$$(\eta_e^{ГТУ})^{вир} = \eta_i^{ГТУ} \cdot \eta_m^{ГТУ} \cdot \eta_e^{ГТУ}, \quad (6)$$

де: $\eta_i^{ГТУ}$ – внутрішній ККД ГТУ, од.; $\eta_m^{ГТУ}$ – механічний ККД ГТУ, од., визначається за паспортом ГТУ; $\eta_e^{ГТУ}$ – електричний ККД турбогенератора ГТУ, од., визначається за паспортом турбогенератора ГТУ.

3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ ГТУ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Експлуатаційними параметрами ГТУ є:

- температура повітря на вході в компресор ГТУ, дорівнює 0 – 20°C. Визначається температурою навколишнього повітря;
- тиск повітря на вході в компресор, дорівнює 1,0 атм (атмосферний тиск); визначається тиском навколишнього повітря;

- тиск повітря на виході компресора, дорівнює 6 – 13 атм; визначається характеристикою компресора;
- температура повітря на виході з компресора, дорівнює 80°C – 120°C, визначається характеристикою компресора;
- температура на виході з камери згорання, дорівнює близько 2000°C. Визначається температурою горіння палива та характеристикою (жаростійкістю) камери згорання;
- температура на вході в газову турбину, дорівнює 750°C – 800°C; визначається жаростійкістю конструкції газової турбіни;
- тиск у вихлопному патрубку газової турбіни, дорівнює 1,5 – 2,0 атм. Визначається числом ступенів турбіни та протитиском атмосферного середовища;
- температура на виході з газової турбіни, дорівнює 380 – 425 °C. визначається термодинамікою циклу ГТУ;
- витрата палива в ГТУ, визначається паливно-енергетичним балансом ГТУ;
- витрата повітря в ГТУ, визначається тепловим балансом та потребою в охолоджувальному повітрі під час змішування продуктів згорання (з камери згорання) з повітрям після компресору;
- коефіцієнт надлишку повітря на вході в компресорі, визначається енерготехнологічним регламентом, в межах від 5,0 до 6,0.
- коефіцієнт надлишку повітря у продуктах згорання на виході з газової турбіни, визначається експлуатаційним співвідношенням “паливо-повітря” ГТУ [3].

3.1. Показники ефективності ГТУ

Показниками ефективності реальних ГТУ загалом визнано наступні:

- термічний ККД ідеалізованого термодинамічного циклу ГТУ – $\eta_i^{ГТУ}$, од;
- внутрішній ККД ідеалізованої ГТУ – $\eta_i^{ГТУ}$, од;
- термічний ККД реального термодинамічного циклу ГТУ – $\eta_r^{ГТУ}$, од;
- внутрішній ККД реальної ГТУ – $\eta_i^{ГТУ}$, од;
- електричний ККД ГТУ з виробленої електричної енергії – $(\eta_e^{ГТУ})^{вир}$;
- електричний ККД ГТУ з відпущеної електричної енергії – $(\eta_e^{ГТУ})^{відп}$;
- питома витрата палива з виробленої в реальній ГТУ електричної енергії – $(b_e^{ГТУ})^{вир}$, г у.п/кВт.год;
- питома витрата палива з відпущеної від реальної ГТУ електричної енергії – $(b_e^{ГТУ})^{відп}$, г у.п/кВт.год.

3.2. Електричний ККД ГТУ з відпущеної електричної енергії

Власникам ГТУ і споживачам потрібно мати інформацію щодо ефективності одержання електричної енергії від ГТУ з метою формування її “заводської” і “ринкової” вартості. Електричний ККД ГТУ з відпущеної електричної енергії – $(\eta_e^{ГТУ})^{відп}$ визначається за формулою:

$$(\eta_e^{ГТУ})^{відп} = (\eta_e^{ГТУ})^{вир} \cdot \xi_{в.л.п}^{ГТУ}, \quad (7)$$

де: $(\eta_e^{ГТУ})^{вир}$ – ККД ГТУ з виробленої електричної енергії, од.; $\xi_{в.л.п}^{ГТУ}$ – коефіцієнт, що враховує наявність споживачів електричної енергії системи власних потреб ГТУ, од. Дорівнює від 0,92 до 0,98.

3.3. Питома витрата умовного палива на відпущену від ГТУ електричну енергію

Питома витрата умовного палива на відпущену від ГТУ електричну енергію – $b_e^{відп}$, г у.п/кВт.год, визначається за формулою:

$$b_e^{відп} = 123 / (\eta_e^{ГТУ})^{відп}, \quad (8)$$

Числові значення сучасних ГТУ відносно високі, внаслідок низьких термічних ККД реалізованих термодинамічних циклів, і дорівнюють від 340 г у.п/ кВт.год до 455 г у.п/кВт.год, що призводить, враховуючи високу ціну палива – природного газу до суттєвого здороження відпущеної електричної енергії .

Але у ситуаціях, за яких ціна електроенергії відступає на другий план (наприклад, у разі резервування електропостачання промислового об’єкту) ГТУ мають перспективу впровадження.

4. ВИСНОВКИ

Переваги ГТУ (відносно ПСУ):

- зниження капітальних затрат на створення замкненої автономної установки;
- зменшення на 50 % витрати металу на створення установки;
- зменшення на 50 % монтажних робіт;
- мінімальні або взагалі відсутні потреби у воді;
- маневреність, мінімізація (6 - 30 хв.) пуску та зупинки установки.

Недоліки ГТУ (відносно ПСУ):

- низький (23 % - 28 %) ККД з відпущеної електричної енергії;
- зменшення ККД турбіни на 1 % зменшує ККД реальної ГТУ на 3,5 %;
- зменшення ККД компресору на 1 % зменшує ККД реальної на 2,0 %; (компресор споживає до 60 % потужності турбіни);
- потреба у рідкому та газовому паливі;
- висока собівартість одержаної електричної енергії.

Список літератури

- [1] Українське радіо. Порятунк енергетики – газотурбінні генераційні установки : вебсайт. URL: <http://www.nrcu.gov.ua/news.html?newsID=100706>
- [2] Київ 24. Як зменшити дефіцит електроенергії у великих містах: вебсайт. URL: <https://kyiv24.news/news/v-ukrayini-zminyay-limity-spozhyvannya-elektroenergiyi-z-24-cherovnya-yakym-bude-novyj-rozpodil>
- [3] Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: навчальний посібник. Харків: САГА, 2014. 316 с.
- [4] Газотурбінні та парогазові установки електростанцій : вебсайт. URL: <https://ko.paljnycia.cx.ua/articles/gazoturbinni-ta-parogazovi-ustanovki.html>

ⁱ Робота виконана під керівництвом к.т.н., доц. Світлани Барановської